蜜蜂访花与不同品种紫花苜蓿花部特征的相关性

姜 华[1,2]，毕玉芬[2*]，周 禾[1]，何承刚[3]

（1. 中国农业大学草地研究所，北京 100094；2. 云南农业大学动物科技学院，昆明 650201；
3. 云南农业大学烟草学院，昆明 650201）

摘要：紫花苜蓿 *Medicago sativa* L.为严格的异花授粉植物，其授粉主要由蜂类进行。作者对10个不同品种紫花苜蓿的花萼直径、花冠长度、花朵密度、花蜜量及花蜜糖组成等花部特征与访花蜂数的关系进行了研究。结果表明，花部特征对访花蜂数的影响依次为：单位面积花蜜量（$r=0.93, P<0.01$）>花朵密度（$r=0.92, P<0.01$）> 蔗糖含量（$r=0.82, P<0.05$）> 花冠长度（$r=0.77, P<0.05$）> 单花花蜜量（$r=0.71, P<0.05$）。对不同品种紫花苜蓿分别利用花部特征和访花蜂数进行聚类分析，结果显示小组划分虽然有所不同，但都能分为相同的两大组，即：阿尔冈津、陕北、L173、WL323 和拉达克聚为一大组，而三得利、德福、赛特、Prime 和德宝聚为另一大组。作者认为，花朵的大小是造成紫花苜蓿各品种间的蜜蜂拜访数量差异的首要因素，再次是花蜜量的多少，最后是花朵的颜色。

关键词：自然蜂群；访花；紫花苜蓿；花部特征；花蜜；蔗糖

中图分类号：Q968 **文献标识码**：A **文章编号**：0454-6296(2004)05-0618-06

Interrelations of bee visitation and floral features in alfalfa

JIANG Hua[1,2]，BI Yu-Fen[2*]，ZHOU He[1]，HE Cheng-Gang[3]（1. Institute of Grassland Science，China Agricultural University，Beijing 100094，China；2. Animal Science and Technology College，Yunnan Agricultural University，Kunming 650201，China；3. Tobacco Science College，Yunnan Agricultural University，Kunming 650201，China）

Abstract: Alfalfa is a plant of strict allogamy，and its pollination relies mainly on bees. The author studied the relationship between the number of visiting bees and floral features，such as calyx diameter，coronary length，number of flowers per m^2，nectar amount，components of sugar and so on，in ten varieties of alfalfa. The results showed the significance order of floral features affecting the number of visiting bees was that the nectar amount per m^2（$r=0.93, P<0.01$）was in the first place，followed by the number of flowers per m^2（$r=0.92, P<0.01$），sucrose content of nectar sugar（$r=0.82, P<0.05$），coronary length（$r=0.77, P<0.05$）and nectar amount（$r=0.71, P<0.05$）. The results of the cluster analysis showed that although the alfalfa varieties were classified into different sub-groups based on floral features in ten varieties of alfalfa or the number of visiting bees，but they could be classified into the same two higher groups：one consisted of Algonquin，Shanbei，L173，Wl323 and Ladak，and the other consisted of Sanditi，Defa，Sitel，Prime and Derby. It was concluded that flower size was the most important feature in affecting bee visitation，followed by nectar production and flower color.

Key words: Wild bees；visiting flower；alfalfa；floral feature；nectar；sucrose

紫花苜蓿 *Medicago sativa* L.为我国二级主要蜜源植物（董霞，2002），是严格的异花授粉植物，自交结实率很低（姜华等，2003），充分授粉可提高其种子产量1～2倍（韩建国，2003），增产效果十分明显。

已有研究表明，苜蓿吸引蜜蜂采蜜主要取决于三个因素：首先是花朵的颜色和大小，其次是蜜蜂的嗅觉反应，第三是蜜蜂得到回报的多少（Clement，1965；Kauffeld and Sorensen，1971）。蜜蜂帮助苜蓿传粉的主要回报是花蜜（Teuber *et al*.，1983）。紫花苜蓿的花蜜含量与蜜蜂访花次数呈正相关，蜜蜂访花次数与种子产量呈正相关，花蜜含糖量与种子产量亦呈正相关（Pedersen，1952，1953）。Holtkamp 等

基金项目：国家教育部骨干教师资助项目（0030712）；国家自然科学基金项目（30260075）

作者简介：姜华，女，1976年生，吉林梅河口人，博士，E-mail：jianghua15@163.com

* 通讯作者 Author for correspondence，E-mail：biyufenynnd@sina.com

收稿日期 Received：2003-12-03；接受日期 Accepted：2004-02-17

(1992)的研究结果表明，苜蓿的种子产量与花蜜量及蔗糖含量呈正相关。紫花苜蓿花朵大小不同所产生的花蜜量也不同(Vansell, 1974; Barnes and Furgala, 1978; Teuber *et al.*, 1980)，且花蜜量与花萼直径有关，花萼直径可能是控制花蜜量的因素之一(Teuber *et al.*, 1980)。不同品种紫花苜蓿的花蜜量、含糖量以及花蜜中蔗糖、葡萄糖和果糖的比例存在着明显的差异(Walker *et al.*, 1974; Barnes and Furgala, 1978; Szabo, 1982)。紫花苜蓿的花蜜中只含蔗糖、葡萄糖和果糖，再没有其他类的糖(Holtkamp *et al.*, 1992)。

目前，国内相关研究报道较少，且多集中于对蜜蜂授粉的观察，而对苜蓿的花部特征——花朵大小、颜色、数量、花蜜及花蜜组成对访花蜂数影响的研究未见报道。本文报道10个不同品种紫花苜蓿花部特征与访花蜂数关系的研究结果，旨在为培育出吸引更多蜜蜂前来拜访的紫花苜蓿品种提供基础资料，对提高种子产量及推进我国的苜蓿育种和苜蓿产业化进程具有一定的理论价值和普遍的生产意义。

1 材料与方法

1.1 样地

试验于2001年8月~2002年8月在兰州牧草站(103°15′ E, 37°30′ N)进行，海拔1 660 m，年辐射量546 kJ/cm^2，年日照时数3 100 h，年平均温度12.7 ℃，年降水量296 mm，年蒸发量1 486.5 mm，年积温3 780 ℃，无霜期196天。

1.2 供试材料

供试材料为紫花苜蓿10个品种：陕北(Shanbei)、拉达克(Ladak)、德福(Defa)、德宝(Derby)、赛特(Sitel)、三得利(Sanditi)、阿尔冈津(Algonquin)、WL323、L173和Prime。2001年8月4日播种，播量为1 g/m^2，播前施有机复合肥15 g/m^{2}和磷酸二铵5 g/m^2。自然条件下生长，按常规栽培技术管理。试验采用随机区组排列，小区面积为1 m × 5 m，3次重复。本研究所观察的蜂均为自然蜂群，优势种是切叶蜂 *Megachile* 属9种和地蜂 *Andrena* 属10种(鲁挺, 1988)，在本文统称为蜜蜂。

1.3 测定方法

1.3.1 花序花朵数：盛花期开始之日，每小区随机取20个花序，统计花朵数。单枝花序数：随机在每小区取20个一级分枝，统计开过花或正在开花的花序。小区单位面积分枝数：随机在每小区取1 m × 1 m统计一级分枝数。已弹花百分率(Busbice and Wilsie, 1966)：每小区随机取20个花序，计算已经弹开的花数占该花序花朵总数的百分比。花冠长度：每小区随机取20朵花测定从花萼基部至花冠旗瓣顶端的长度。

1.3.2 访花蜜蜂种类、数量和访花频率：每小区固定1 m × 1 m，观察访花蜜蜂的数量和种类，再固定一头蜂观察其访花频率，连续观察5天。

1.3.3 泌蜜量和含糖量：从每小区内分别采集3~4总状花序，立即放入盛有蒸馏水的100 mL烧杯中，使总状花序的花梗垂直向上，在汲取花蜜之前，先去掉未开放的、破损的和萎蔫的花，每朵花萼以上的花冠加以修剪，总状花序用细绳绑上，夹在离心管盖子上，以1 800 r/min的速率离心8 min。测定花蜜量。在汲取的花蜜中，含糖率用糖量计(泉州光学仪器厂生产)测定；花蜜内果糖、葡萄糖和蔗糖含量用高效液相色谱(HP1100LC. Hewletl-Packard)测定。

1.4 数据统计与分析

用SSPS(Statistical Product and Service Solutions)软件进行Duncan氏复极差检验差异水平，并进行聚类分析。

2 结果与分析

2.1 不同品种紫花苜蓿的花部特征

对10个品种紫花苜蓿的花萼直径、花冠长度、花序花朵数、花朵密度、已弹花百分率进行了比较(表1)。Prime和赛特的花萼直径显著大于除德宝外的其他品种($P < 0.05$)。Prime、德宝和赛特的花冠长度都显著长于除德福外的其他品种($P < 0.05$)。德宝和三得利苜蓿的花序花朵数显著多于L173苜蓿($P < 0.05$)。德宝的花朵密度(单位面积分枝数、分枝花序数与花序小花数之积)显著高于除德福以外的其他品种($P < 0.05$)。紫花苜蓿各品种的已弹花百分率差异不显著。

2.2 不同品种紫花苜蓿的花蜜量和含糖量

10个品种紫花苜蓿的花蜜量、花蜜含糖量及蔗糖、果糖和葡萄糖含量见表2。Prime、赛特和德宝的花蜜量显著高于其他品种($P < 0.05$)。赛特的花蜜含糖量显著多于除德宝和Prime外的其他品种($P < 0.05$)。紫花苜蓿花蜜中蔗糖、果糖和葡萄糖含量在品种间差异很大，且各品种花蜜的蔗糖含量和果糖含量都极显著多于葡萄糖含量($P < 0.01$)。

表 1 10 个品种紫花苜蓿的花部特征(2002.6.9)

Table 1 Floral features in ten varieties of alfalfa (June 9, 2002)

苜蓿品种 Variety	花萼直径 Calyx diameter (mm)	花冠长度 Coronary length (mm)	花序花朵数 Number of flowers per raceme	花朵密度 Number of flowers per m^2	已弹花百分率 Ratio of tripped flowers (%)
Prime	2.22 ± 0.09 a	10.92 ± 0.23 a	17.97 ± 0.91 ab	2127.77 ± 27.37 cd	42.33 ± 10.08 a
赛特 Sitel	2.14 ± 0.08 a	10.81 ± 0.59 a	19.80 ± 0.64 ab	2660.89 ± 4.28 bc	41.45 ± 13.4 a
德宝 Derby	2.13 ± 0.08 ab	10.89 ± 0.32 a	2 0.80 ± 1.29 a	3298.24 ± 44.74 a	54.06 ± 6.60 a
L173	2.01 ± 0.08 bc	9.43 ± 0.13 bc	16.53 ± 1.31 b	1289.51 ± 22.17 e	40.93 ± 6.89 a
德福 Defa	1.99 ± 0.08 bc	10.14 ± 0.31 ab	19.92 ± 2.02 ab	2811.31 ± 32.43 ab	48.17 ± 13.81 a
三得利 Sanditi	1.92 ± 0.05 cd	9.92 ± 0.20b c	2 20.58 ± 1.63 a	2451.10 ± 46.31 bc	45.27 ± 10.15 a
陕北 Shanbei	1.91 ± 0.12 cd	9.98 ± 0.50 bc	17.13 ± 0.37 ab	1397.83 ± 5.86 e	43.81 ± 3.19 a
阿尔冈津 Algonquin	1.85 ± 0.12 cde	9.31 ± 0.23 cd	17.37 ± 0.27 ab	1382.87 ± 7.07 e	36.67 ± 1.99 a
拉达克 Ladak	1.75 ± 0.05 de	8.56 ± 0.31 d	18.57 ± 3.71 ab	1449.34 ± 18.13 e	39.37 ± 7.59 a
WL323	1.68 ± 0.07 e	9.18 ± 0.42 cd	18.12 ± 1.16 ab	1614.80 ± 17.41 de	38.34 ± 5.65 a

注 Notes: 表中数据是平均值 ± *SD*, 数据后不同字母表示差异显著($P \leq 0.05$, Duncan 复极差检验)The data in the table are mean ± *SD*, and those followed by different letters indicate significant difference at $P \leq 0.05$ by Duncan's multiple range test. 下同 The same for the following tables.

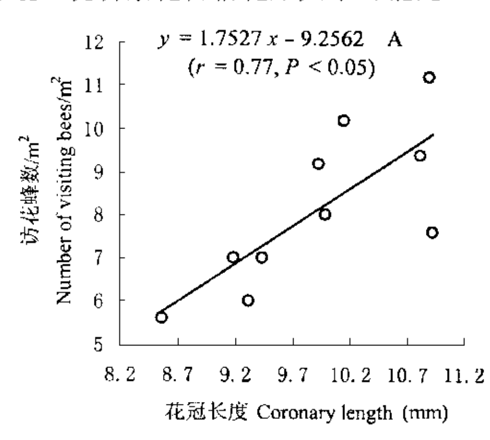
表 2 10 个品种紫花苜蓿花中花蜜和糖含量(2002.6.9)

Table 2 Nectar amount and sugar content in flowers of ten varieties of alfalfa (June 9, 2002)

苜蓿品种 Variety	花蜜量(mg/花) Nectar (mg/flower)	含糖量(%) Sugar content	糖的组成 Sugar composition (g/100 mL)		
			蔗糖 Sucrose	果糖 Fructose	葡萄糖 Glucose
Prime	0.59 ± 0.01 a	48.40 ± 1.64 ab	28.70	18.20	< 0.10
赛特 Sitel	0.54 ± 0.03 a	49.80 ± 2.58 a	28.40	14.20	< 0.10
德宝 Derby	0.53 ± 0.04 a	48.60 ± 2.65 ab	34.30	10.20	< 0.10
德福 Defa	0.46 ± 0.03 b	42.00 ± 3.25 d	24.80	11.20	3.80
L173	0.43 ± 0.02 b	47.40 ± 1.46 bc	17.00	21.10	5.40
三得利 Sanditi	0.40 ± 0.02 c	38.60 ± 1.29 e	19.80	13.20	5.30
陕北 Shanbei	0.39 ± 0.01 c	45.90 ± 3.21 c	18.60	22.70	< 0.10
阿尔冈津 Algonquin	0.33 ± 0.02 d	37.60 ± 2.54 e	16.90	10.20	5.80
拉达克 Ladak	0.21 ± 0.01 e	35.40 ± 1.38 f	8.90	16.20	6.80
WL323	0.19 ± 0.00 e	42.30 ± 2.94 d	15.80	10.90	9.50

2.3 访花蜂数与不同品种紫花苜蓿花部特征的关系

由图 1 可见，紫花苜蓿的花冠长度与访花蜂数显著相关(图 1: A)，说明紫花苜蓿花朵大小可能是影响蜜蜂拜访数量的一个因素。紫花苜蓿的花朵密度与蜜蜂拜访数量呈极显著正相关(图 1: B)，说明紫花苜蓿花朵密度可能是影响蜜蜂拜访数量的一个主要因素。



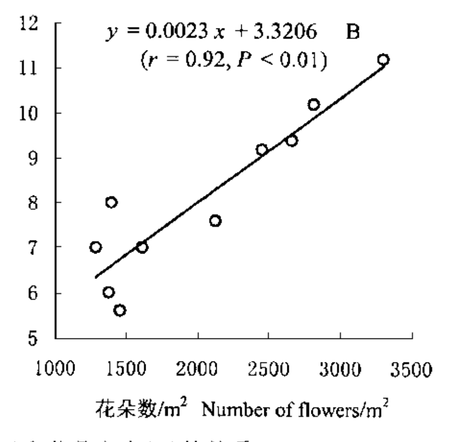
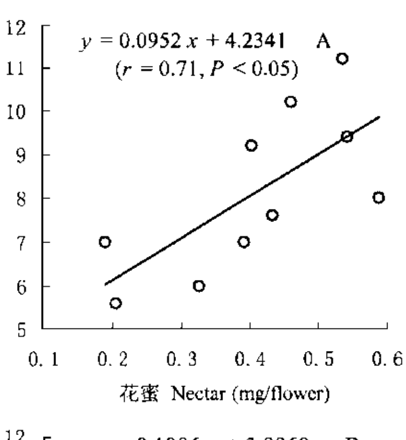


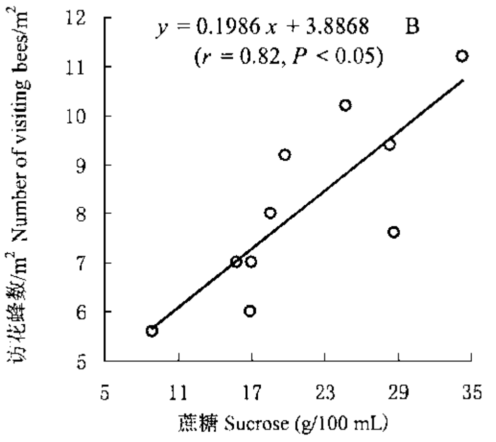
图 1 访花蜂数与花冠长度(A)和花朵密度(B)的关系

Fig. 1 Number of visiting bees in relation to coronary length (A) and flower density (B) of alfalfa

2.4　不同品种紫花苜蓿的花蜜量和含糖量与访花蜜蜂数量的关系

由图 2 可见，紫花苜蓿的花蜜量与访花蜜蜂数量显著相关（图 2: A），说明花蜜量可能是影响蜜蜂前来拜访的一个因素。花蜜中总糖含量与访花蜂数相关不显著，但花蜜的蔗糖含量与访花蜂数显著相关（图 2: B），果糖、葡萄糖与访花蜂数相关都不显著，说明紫花苜蓿花蜜中蔗糖含量可能是影响访花蜂数的主要因素。紫花苜蓿单位面积花蜜量（单位面积花朵数与花朵花蜜量之积）与访花蜂数极显著相关（图 2: C），说明紫花苜蓿单位面积花蜜量很可能是影响访花蜜蜂的一个主要因素。





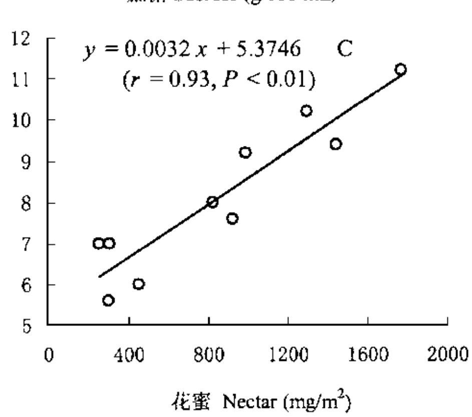


图 2　访花蜂数与花朵花蜜含量（A）、蔗糖含量（B）和单位面积花蜜量（C）的关系

Fig. 2　Number of visiting bees in relation to nectar amount (A), sucrose content (B) and nectar amount of alfalfa per m² (C)

由此可见，访花蜜蜂数量与花朵大小、花朵数量、花蜜量、蔗糖含量，单位面积花蜜量均有一定关系。

2.5　不同品种紫花苜蓿花部特征和访花蜂数的聚类分析

紫花苜蓿各品种的花冠长度、花萼直径、花序花朵数、单枝花序数、单位面积单枝花序数、花朵密度、已弹花百分率、花蜜量和蔗糖含量等花部特征进行聚类分析，大致可分为两大组，阿尔冈津、陕北、L173、WL323 和拉达克聚为一大组，而三得利、德福、赛特、Prime 和德宝聚为另一大组（图 3: A）。紫花苜蓿各品种的访花蜂数也可大致分为两大组，L173、WL323、阿尔冈津、拉达克和陕北聚为一大组，而赛特、三得利、Prime、德宝和德福聚为另一大组（图 3: B）。虽然紫花苜蓿的花部特征和访花蜂数聚类的小组划分有所不同，但整体上都分为两大组，且大组的组成一致（图 3）。说明紫花苜蓿的花部特征与访花蜂数有着密切的关系。

3　讨论

本研究中的 10 个紫花苜蓿品种的花朵颜色差异不明显，基本上都为紫色，说明紫花苜蓿各品种间花朵的颜色并不是造成访花蜂数差异的主要因素。Busbice 和 Wilsie（1966）认为紫花苜蓿花的弹开机制也是影响蜜蜂授粉进而影响种子产量的一个因素，本文中的紫花苜蓿已弹花百分率的差异不显著，说明紫花苜蓿各品种间花朵的弹花力也不是造成各品种间访花蜂数差异的主要因素。从结果和分析中可以看出，紫花苜蓿的花冠长度、花朵密度、花蜜量、蔗糖含量及单位面积花蜜量都与访花蜂数显著相关，对其影响的程度依次为：单位面积花蜜量（$r = 0.93$，$P < 0.01$）> 花朵密度（$r = 0.92$，$P < 0.01$）> 蔗糖含量（$r = 0.82$，$P < 0.05$）> 花冠长度（$r = 0.77$，$P < 0.05$）> 单花的花蜜量（$r = 0.71$，$P < 0.05$）。紫花苜蓿花的群体对访花蜂数的影响比单个花朵大。就单个花朵而言，大小是影响访花蜂数的最主要因素，花蜜量次之，这可能是因为与花朵大小相比，花蜜含量相对显得较少的原因所致。Teuber（1983）认为花蜜

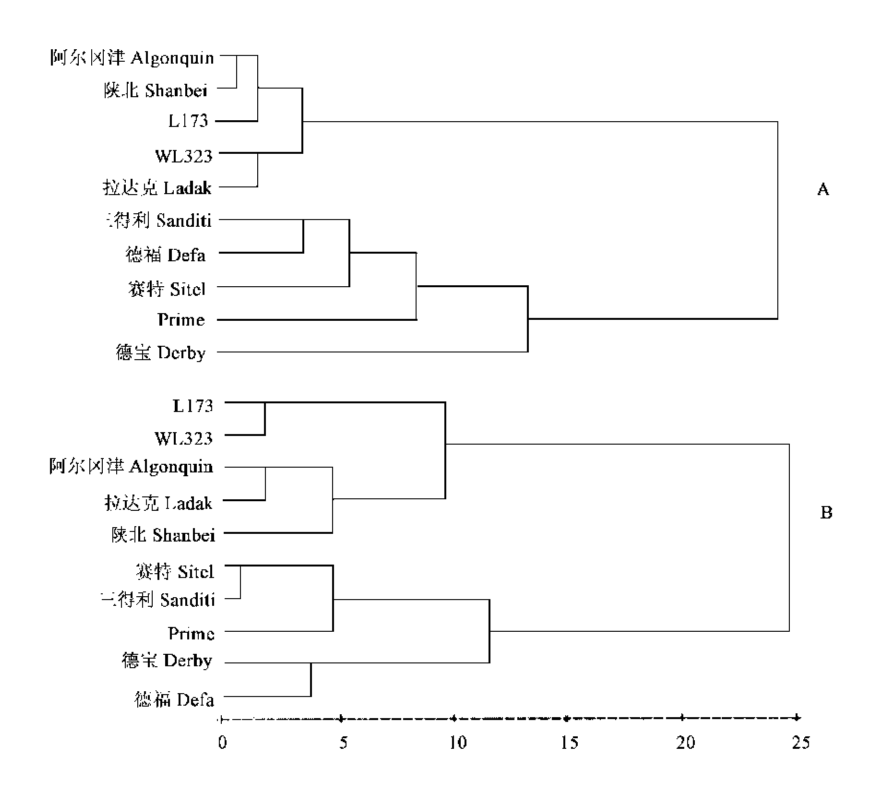


图3 不同品种紫花苜蓿花部特征(A)和访花蜂数(B)的聚类分析

Fig. 3 Clustering analysis based on alfalfa floral feature (A) and bee visitation (B)

中总糖含量是影响访花蜂数的一个重要因素。而本研究却与 Holtkamp 等(1992)的结论一致,即花蜜中总糖含量对访花蜜蜂数量的影响不大,而花蜜糖中蔗糖含量对访花蜂数的影响较大。就整片紫花苜蓿地而言,单位面积花蜜量和花朵密度就成了吸引蜜蜂的主要因素。因为吸引蜜蜂访花不仅取决于花朵本身的因素,而且还受蜜蜂嗅觉和视觉的影响。从以上讨论可以看出,花朵的大小是造成紫花苜蓿各品种间的蜜蜂拜访数量差异的首要因素,再次是花蜜量的多少,最后是花朵的颜色,这与 Clement (1965)及 Kauffeld 和 Sorensen(1971)的结论略有差别。

参考文献(References)

Barnes DK, Furgala B, 1978. Nectar characteristics associated with sources of alfalfa germplasm. *Crop Science*, 18: 1 087 - 1 089.

Busbice TH, Wilsie CP, 1966. Heritability of 'ease of tripping' in alfalfa and its possible relation to seed setting. *Crop Science*, 6: 377 - 388.

Clement WM, 1965. Flower color, a factor in attractiveness of alfalfa clones for honeybees. *Crop Science*, 5: 267 - 268.

Dong X, 2002. Talk about classification of main nectar plants in China. *Journal of Honeybee*, (3): 31. [董霞, 2002. 中国主要蜜源植物分级. 蜜蜂杂志, (3): 31]

Han JG, 2003. Seed production in alfalfa. http://www.huafengsl.com/sanli/jsyd/7.htm. [韩建国, 2003. 紫花苜蓿的种子生产. http://www.huafengsl.com/sanli/jsyd/7.htm]

Holtkamp RH, Morthorpe KJ, Clift AD, 1992. Influence of nectar volume and sugar content on seed set in lucerne. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 32: 713 - 716.

Jiang H, Bi YF, He CG, Zhang J, 2003. The study on alfalfa pollinating mechanism and relationship to its pollinating insects. *Pratacutural Science*, 20(1): 1 - 5. [姜华, 毕玉芬, 何承刚, 张军, 2003. 苜蓿授粉机理及其与传粉昆虫的关系. 草业科学, 20(1): 1 - 5]

Kauffeld NM, Sorensen EL, 1971. Interrelations of Honeybee Preference and Alfalfa Clones and Flower Color, Aroma, Nectar Volume, and Sugar Concentration. Kasas: Agric. Exp. Stn. Res. Publ. 196.

Lu T, 1988. Pollinating insects in legume forage—study on wild honeybee. *Grassland of China*, 10(2): 9 - 13. [鲁挺, 1988. 豆科牧草传粉昆虫——野蜜蜂的研究. 中国草地, 10(2): 9 - 13]

Pedersen MW, 1952. Nectar Production in Alfalfa Clones as Related to Bee Visitation and Seed Production Including a Study of Techniques for Measuring Nectar. Univ. of Minnesota, Ph.D. thesis.

Pedersen MW, 1953. Seed production in alfalfa as related to nectar production and honeybee visitation. *Bot. Gaz.*, 115: 129 - 138.

Szabo TI, 1982. Nectar secretion by 28 varieties and breeders lines of two species of rapeseed (*Brassica napus* and *B. campestris*). *American Bee Journal*, 122: 645 - 647.

Teuber LR, Albertsen MC, Barnes DK, Heichel GH, 1980. Structure of floral nectaries of alfalfa (*Medicago sativa* L.) in relation to nectar production. *American Journal of Botany*, 67: 433 - 439.

Teuber LR, Barnes DK, Rincker CM, 1983. Effectiveness of selection for nectar volume, receptacle diameter, and seed yield characteristics in

alfalfa. *Crop Science*, 23: 283 - 289.

Vansell GH, 1974. Alfalfa nectar and the honeybee. *J. Econ. Entomol.*, 34: 21 - 23.

Walker AK, Barnes DK, Furgala B, 1974. Genetic and environmental effects on quality of alfalfa nectar. *Crop Science*, 14: 235 - 238.

（责任编辑：袁德成）